

suelo a partir del cual las plantas se afectan, se reduce su desarrollo y disminuye significativamente el rendimiento. Equivale a la frontera inferior del agua del suelo fácilmente utilizable por las plantas (% de Cc). Los valores más usados están entre el 75% y 90% de la capacidad de campo de acuerdo al tipo de suelo y a la técnica utilizada.



Figura 10.2. Distribución del sistema radical de la caña de azúcar (Variedad My55-14) con 12 meses de edad, suelo Ferralitizado Cálxico, de la Estación Experimental de Jovellanos, Matanzas.

Coefficiente de marchitez y punto de marchitez permanente: El coeficiente de marchitez se refiere al valor de la humedad en el suelo que determina se produzcan síntomas de marchitez. El punto de marchitez permanente ocurre cuando el contenido de humedad y su efecto es tal que no se produce la regresión al estado normal, si se aplica agua. También punto de marchitez es el nivel mínimo de humedad en suelo que toleran las plantas, por debajo del cual se marchitan primero temporal y después permanentemente.

Evapotranspiración: Es la cantidad de agua que se extrae del suelo por concepto de la transpiración del cultivo y por la evaporación del agua de la superficie del suelo. El consumo mensual de agua por parte de la caña de azúcar varía por día y por mes. Para cada día ocurren consumos entre 3,0 y 6,0 mm/día, dependiendo del estado de desarrollo de la caña de azúcar y las condiciones climáticas del mes.

Evapotranspiración de referencia: La evapotranspiración de referencia (E_{tr} mm/día), es recomendado por la FAO para el cálculo de los requerimientos de riego de los cultivos, presenta los mayores valores en los meses de febrero, marzo y abril en las diferentes zonas. Su valor anual tiene una tendencia a aumentar de occidente al oriente del país, lo cual se indica en la Figura 10.3.

Norma de riego: Es la cantidad de agua que se aplica durante un riego para humedecer el suelo y satisfacer las exigencias hídricas de la planta durante un período determinado. Las normas de riego pueden ser parciales y totales, netas y brutas. Depende de la profundidad de la capa activa, de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo y del límite productivo adoptado. En las condiciones de Cuba las normas netas totales pueden llegar hasta 6 500 m³/ha en dependencia del tipo de suelo. La Figura 10.4 muestra las normas totales-netas-medias por provincias, para diferentes variantes de satisfacción de la demanda de agua. Se ratifica, la tendencia a aumentar los requerimientos de agua de la caña de azúcar hacia la zona más oriental del país.

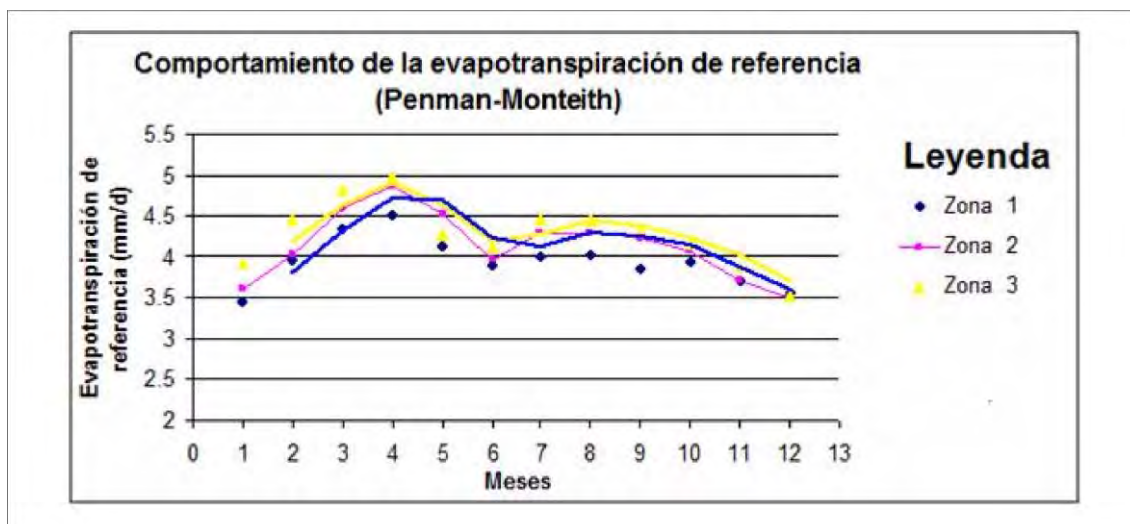


Figura 10.3. Comportamiento de la evapotranspiración de referencia mensual (Eto) en las tres zonas edafoclimáticas establecidas para el manejo del agua de riego en Cuba. Zona 1. Occidental. Zona 2. Central. Zona 3. Oriental.

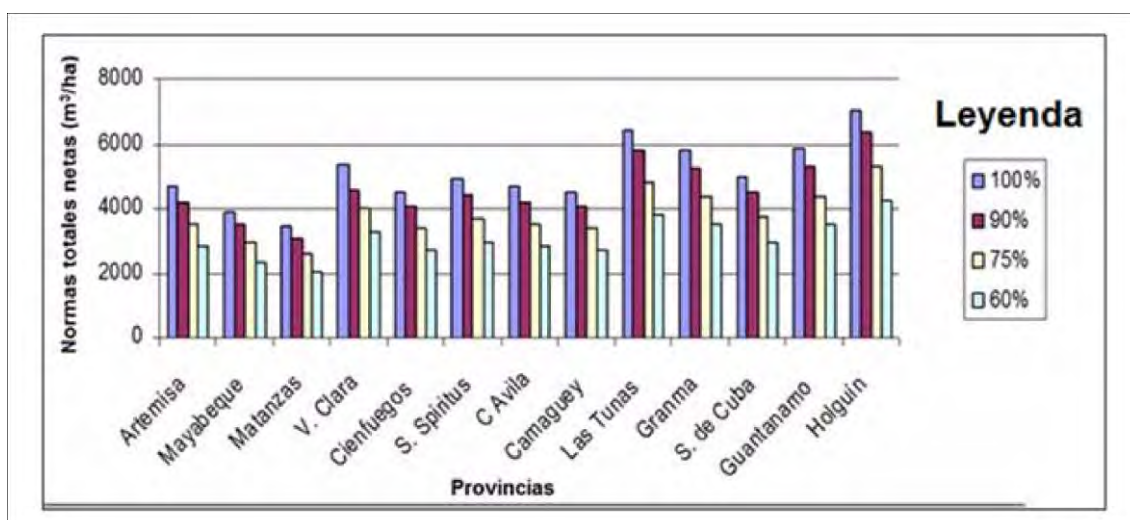


Figura 10.4. Norma de riego (media total neta en m^3/ha) determinada para cada provincia del país para diferentes variantes de satisfacción de la demanda de agua.

10.3.2 Necesidades de riego

Número de riegos: Es la cantidad de veces que es necesario aplicar la norma parcial para alcanzar la norma neta total de riego de agua.

Intervalo de riego: Es el tiempo en que el cultivo consume el agua aplicada en un riego y se determina por la relación entre la norma neta parcial (m^3) y la evapotranspiración diaria (Etd) cuando no ocurren lluvias. Como esta última es variable a través del ciclo vegetativo los intervalos de riego también serán variables ocurriendo los mínimos durante los meses de mayor evapotranspiración.

10.4 TÉCNICAS DE RIEGO MÁS EMPLEADAS EN LA CAÑA DE AZÚCAR

En la caña de azúcar se explotan las diferentes técnicas de riego conocidas, según la demanda del cultivo, las condiciones edafoclimáticas de cada lugar y las fuentes de abasto disponibles. Las técnicas de riego más comunes actualmente en el país son el

riego por superficie, por aspersión (máquinas de pivote central y enrollador) y riego localizado por goteo.

10.4.1 Riego por superficie

El riego por superficie se caracteriza porque el agua fluye por el desnivel del terreno a lo largo de los surcos, cuando para lograr esta acción no se utiliza energía se le denomina riego por gravedad o por derivación. Existen diferentes modalidades del riego por superficie en caña de azúcar: Tradicional e ingeniero, este último puede ser por sifones, por espitas y tuberías perforadas. En la Tabla 10.4 se indican las ventajas y las desventajas de este método de riego.

Tabla 10.4. Ventajas y desventajas del riego por gravedad.

Ventajas	Desventajas
Bajo o nulo consumo de energía.	Baja eficiencia global del sistema, alto costo inicial y de explotación.
Idónea para suelos pesados y de mal drenaje.	Necesidad de mantenimiento sistemático, el cual resulta complejo y costoso.
	Baja productividad de los regadores.
	La red superficial requiere ser eliminada o reconstruida debido a que obstaculiza la mecanización de la cosecha.
	Peligro de encharcamiento y salinización de los suelos.

Tradicional por surcos: De la técnica de riego por superficie el método más utilizado en caña de azúcar es el riego por surcos (Figura 10.5). La aplicación eficiente de esta técnica depende de la adecuada nivelación del terreno, la que debe garantizar una pendiente promedio entre 0,2 y 0,6% en la dirección de los surcos. Con ella se ahorra agua, energía, fuerza de trabajo y se protegen los suelos. Se entrega y distribuye el agua en los surcos por medio de un azadón (guataca) o palas. La longitud de los surcos es variable, en la mayoría de los casos entre 250 y 500 m.



Figura 10.5. Riego por superficie (tradicional por surcos) en terreno de topografía casi plana y nivelado.

Sistema Ingeniero: Se nivela el suelo y se construyen obras de fábrica para facilitar el manejo del agua en el campo, creándose las condiciones para entregar y distribuir la norma de riego adecuadamente en los surcos por medio de aditamentos hidrotécnicos especiales.

Con sifones: Tubos plásticos de PVC u otro material generalmente de 50 mm de diámetro y 3 m de longitud que se van colocando sobre el talud del canal y suministran el agua de éste a los surcos, mediante el efecto sifón que se produce una vez que se ha iniciado el flujo del agua a través de la tubería. Cada sifón entrega un gasto fijo que depende de la diferencia de altura entre el nivel del agua del canal y la salida del sifón, en general se sitúa uno por surco. Para el riego por sifón el canal debe tener el comando necesario. Una vez suministrada a cada surco la cantidad de agua necesaria (según la norma a aplicar), el sifón se traslada a otra posición y así sucesivamente.

Con espitas: Tubos fijos instalados en el talud de un canal a una profundidad determinada por debajo del nivel de agua normal (NAN). Para su funcionamiento el canal se divide en secciones mediante compuertas a fin de garantizar el nivel de agua necesaria sobre las espitas, las cuales pueden ser de madera, aluminio, plástico, hierro, las más utilizadas son de plástico (PVC) generalmente entre 50 y 75 mm de diámetro.

Con tubería perforada: Consiste en una tubería que puede ser plástica (de pared fina) o de aluminio con perforaciones coincidentes con los surcos. Toman el agua de un canal secundario mediante una obra que propicia la carga necesaria. La regulación del gasto a cada surco debe hacerse mediante una válvula para que entregue el mismo gasto (Figura 10.6).



Figura 10.6. Riego por surcos utilizando tuberías de PVC perforadas en terreno nivelado y de topografía casi plana.

Con acorchados: Consiste en instalar una lámina de polietileno en los entresurcos que permiten trasladar el agua con facilidad a lo largo del surco y que posteriormente se infiltre por los micro-poros de la lámina. Con esta técnica los rendimientos son muy superiores al método tradicional, además de economizar agua y mejorar la eficiencia del riego. Se utiliza principalmente en suelos arenosos de alta velocidad de infiltración (Figura 10.7).

Aspectos importantes para una buena explotación del riego por surcos

- El caudal por surco debe ser acorde a la pendiente, permeabilidad y longitud del mismo, de forma que no se produzca erosión y las pérdidas por vertimiento al final sean mínimas. Por lo que se debe emplear el mayor gasto posible según la textura del suelo. La longitud varía según el tipo de suelo y la pendiente.



Figura 10.7. Riego por surcos utilizando acolchados de polietileno con microporos. A. Instalación del polietileno entre los surcos de caña. B. Conduciendo el agua sobre el acolchado a lo largo de los surcos.

- En suelos arcillosos pesados de poca pendiente la longitud óptima de los surcos es de 250-330 m, los caudales por surco deben estar entre 4-5 litros/segundo (l/s), regándose por surcos alternos, 1-3 en caña planta y 1-4 a 1-5 en las demás cepas.
- Algunos investigadores aconsejan aplicar el gasto máximo no erosivo hasta que el agua halla recorrido entre el 75-90% de la longitud total del surco y en este momento reducir el caudal al 50% hasta completar la norma de riego requerida por el cultivo.
- Un regador para trabajar eficientemente solo debe manejar un caudal que oscile entre 80 y 120 l/s. Además deben construirse correctamente la red de canales temporales y badenes, así como asegurar un uso adecuado del surco guía.

Acciones para lograr buena calidad y eficiencia en el riego superficial

- Antes del inicio de la campaña, se procederá a la revisión y acondicionamiento de la red de canales y obras de fábrica de cada sistema.
- Se deben realizar mediciones del caudal en distintos tramos del sistema, que permitan conocer en forma aproximada la efectividad en la conducción, desde la estación de bombeo u otra fuente de abasto, hasta el área a regar.
- Teniendo en cuenta el gasto (Q), el tipo de suelo, el relieve del terreno y la pendiente, los técnicos harán los cálculos necesarios para definir y establecer los indicadores siguientes: a) número de regadores, gasto y cantidad de surcos por regador; b) longitud de los surcos; c) tiempo de riego en cada surco y, d) variante más indicada posible para la entrega del agua a los surcos.
- Los valores establecidos por los indicadores que aparecen en la Tabla 10.4, servirán de referencia y se tendrán en cuenta para organizar el riego en cada bloque de caña, de acuerdo a la textura del suelo, la infiltración, pendientes de cada lugar, largo de los surcos y las condiciones del sistema de riego. La distribución del agua será mediante surcos o «guías de agua» y nunca mediante el aniego.

Tabla 10.4. Parámetros de diseño del riego por surcos en las condiciones de Cuba.

Textura del suelo	Infiltración básica (mm/h)	Pendiente (%)	Longitud óptima (m)	Gasto óptimo (l/s)	Eficiencia de uso del agua (%)
Arcillosa	< 5	< 0,2	250	5	75-80
Arcillosa	< 5	0,2 – 0,6	500	5	70-75
Arcillo-limosa	5-25	0,2 – 0,6	300	4	60-70
Limo-arcillosa	25-50	0,2 – 0,6	200	3	55-65
Arcillo-arenosa	50-75	0,2 – 0,6	120	2	50-60

Es importante evitar los salideros y desbordes de agua en los canales, que causen encharcamientos, arrastres y derroches del preciado líquido. No se mantendrá la entrada de agua al campo, en ausencia del personal encargado de su manejo. En las áreas de riego por gravedad, el diseño y ejecución de la red de distribución en el bloque debe estar compatibilizada con la mecanización.

Aspectos que se identifican con la mejora del manejo del riego por surcos

En los suelos arcillosos se debe regar por surcos alternos, a partir del segundo riego, como vía para aumentar la eficiencia de aplicación, y reducir el consumo de agua. En la Tabla 10.5 se expone un resumen de las pruebas de riego para dos condicionales de suelos.

Tabla 10.5. Resultados de pruebas de riego por surcos alternos de caña de azúcar en dos tipos de suelos de características bien diferenciadas.

Manejo	Suelos	Ls (m)	Ds (m)	N (m ³ /ha)	Ea	Productividad (ha/hombre/jornada)
Surco continuo	1	250	1,60	610	34	2,70
	2	333	1,60	820	57	4,30
Surco alterno	1	250	3,20	320	65	5,10
	2	333	3,20	540	87	6,70

Ls= Longitud surco. Ds= Distancia entre surcos. N= Norma parcial bruta. Ea= Eficiencia de aplicación. 1. Suelos Ferralitizados Cuarcíticos. 2. Suelos Vertisuelos. Fuente: Meneses (2000).

Recorte del caudal de agua

Representa una forma de manejo para evitar las elevadas pérdidas por escorrentías que se producen por el empleo de un caudal elevado. Se basa en el uso de un caudal mayor (no erosivo) durante la fase de avance y reducirlo tan pronto se complete una parte de la fase de avance del agua (podría ser un 75% de la longitud del surco). El caudal de recorte puede ser entre un 50 y un 70% del caudal inicial, en el caso de riego por sifones esto se maneja reduciendo el número de unidades o sifones en operaciones y en las tuberías con compuertas, cerrando parcialmente las mismas.

10.4.2 Riego por aspersión

El agua se hace llegar al cultivo en forma de lluvia mediante el uso de dispositivos especialmente diseñados para ello, tales como: aspersores, toberas, sprays y otros. Estos dispositivos se alimentan con el agua a presión proveniente de una instalación de bombeo. Fonseca (2005) reporta que en Cuba existían 130 mil ha de riego por

aspersión y en América Latina se estimaba que en ese momento el riego con esta técnica alcanzaba el 10%. El tamaño grande de las gotas de agua, en los sistemas de aspersión mal concebidos o regulados, degrada la estructura del suelo, lo compacta y lo hace susceptible a la erosión y encharcamientos (Tarjuelo, 2005).

Este método incluye las técnicas de aspersión por enrolladores y máquinas de riego de pivote central.

10.4.2.1 Riego por aspersión con enrolladores

Durante décadas los aspersores de alta carga predominaron en la industria azucarera tecnificada de los países más avanzados, perfeccionándose en la actualidad con los enrolladores (Figura 10.8).

Principales ventajas del método de riego por aspersión usando enrolladores

- Adaptable a cualquier topografía del terreno.
- Rápido montaje y desmontaje.
- Posibilidad de aplicar riegos con normas reducidas y cubrir mayor área debido a su elevada versatilidad.

Desventajas del método de riego por aspersión con enrolladores

- Consumo elevado de energía.
- Relativa alta demanda de fuerza de trabajo manual.
- Efecto negativo del viento, que se agudiza a determinadas horas del día.
- Altos costos de inversión, con valores entre 1 500-2 000 pesos/ha.



Figura 10.8. Enrollador utilizado para realizar el riego por aspersión en la caña de azúcar.

10.4.2.2 Riego con máquinas de pivote central

Las máquinas de riego de pivote central se desplazan de forma circular. Estas pueden tomar el agua de un canal revestido con pendiente cero o de un pozo. El área regada por una máquina oscila entre 80-200 ha, por la fuente motriz pueden ser: eléctricas o hidráulicas (Figura 10.9).



Figura 10.9. Riego por aspersion con máquina de pivote central.

Ventajas del riego por máquinas

- Alta eficiencia (90-95%) y buena uniformidad de aplicación.
- Posibilidad de aplicar normas reducidas.
- Notable ahorro energético por trabajar a menor presión (20-25% menos que la aspersion de alta carga).
- Facilidad para la electrificación y automatización.
- Humanización del trabajo de los regadores.
- Alta productividad de la fuerza de trabajo (0,8-1,0 ha/hora/hombre).
- Permite satisfacer los requerimientos de agua de la caña y aplicar fertilizantes y herbicidas sin costo adicional.
- Bajo costo de explotación (15,08 pesos/ha).
- Se obtienen altos rendimientos de caña.

Desventajas del riego por máquinas

- Alto costo de inversión entre 1 500-2 000 pesos/ha.
- Requiere usarse con cuidado cuando la velocidad del viento es alta.
- Tienen limitaciones su empleo en terrenos de topografía irregular y en cuanto a la conformación geométrica del área.

10.4.3 Riego localizado

Mediante este método se aportan pequeños volúmenes de agua mezclada con fertilizantes que se distribuyen localmente en la zona donde se concentran la mayor cantidad de raíces de la planta y se mantiene una humedad adecuada durante todo el ciclo de crecimiento del cultivo, por lo que se requiere una mayor frecuencia de riego.

En el caso de la caña de azúcar los mejores resultados se han obtenido mediante una cinta de cámara colocada en el fondo del surco antes de efectuar la siembra. Esto posibilita un gran ahorro de agua al irrigarse las zonas ocupadas por la mayor concentración de raíces.

La conducción del agua hasta la cinta se hace mediante un sistema de tuberías soterradas, generalmente plásticas (PVC), cuyos diámetros y distribución están en dependencia de las dimensiones y estructura del área a regar. Las mismas pueden

tener una durabilidad de más de 10 años a profundidades de hasta 35 cm. con presiones de 0,3 a 1,0 atm. (Figura 10.10).

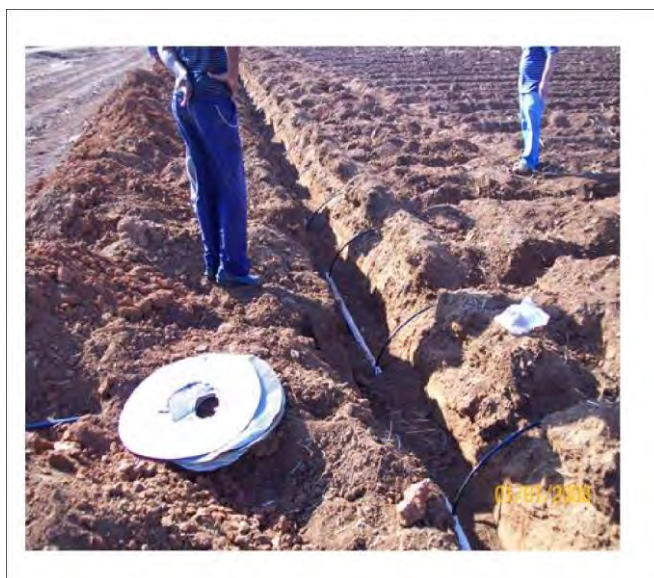


Figura 10.10. Instalación de un sistema de riego localizado por goteo subsuperficial.

El riego localizado es empleado con éxito en el cultivo de la caña de azúcar en diversos países. En Cuba se han obtenido resultados altamente positivos (Tabla 10.6), siendo un método de buenas perspectivas para utilizarlo a escala de producción comercial y donde el abasto de agua no sea muy abundante.

Tabla 10.6. Rendimientos agrícolas obtenidos en áreas con riego por goteo en Cuba. Unidades Básicas de Producción (UEB) A. Lincoln, Ciro Redondo y A. Colina, en las provincias de Artemisa, Ciego de Ávila y Granma respectivamente.

Cepas	cantidad de cosechas	Edad promedio (meses)	Rendimiento medio caña t ha ⁻¹)
Plantas	3	18 - 20	218
Retoños	14	12 - 13	119

Fuente: Lamelas (2011).

Ventajas del riego por goteo

- Posibilidad de empleo en zonas con déficit hídrico.
- Alta eficiencia de aplicación del agua (90-95%)
- No presenta limitaciones con el relieve del terreno, ni con el tipo de suelo.
- Bajo consumo de agua y energía
- Fácil explotación y automatización, poca complejidad de operación.
- Bajo costo operativo (7,93 pesos/ha).
- Aumento de la productividad de los regadores y humanización del trabajo.
- Permite el fertirriego efectivo sin costo adicional.
- Se necesita menos volumen de agua para producir una tonelada de caña.
- Se obtienen altos rendimientos agrícolas.

Desventajas del riego por goteo

- Se requiere agua totalmente limpia, para lo cual hay que emplear adecuados sistemas de filtrado, porque se pueden obstruir los orificios de entrega debido a partículas de arena, limo, materia orgánica (algas), así como precipitación de fertilizantes.
- Mayor costo de la inversión inicial con respecto a otras técnicas (2 500-3 000 pesos/ha) aunque la misma se recupera entre 2-4 años.
- Se requiere colocar cintas a las profundidades adecuadas de acuerdo al tipo de suelo para que no se limite el desarrollo radical de la caña.

10.5. ÍNDICES TÉCNICOS PARA SELECCIONAR LAS TECNOLOGÍAS DE RIEGO

Para el productor cañero resulta de vital importancia la selección correcta de la técnica de riego que debe emplear de acuerdo a las características del área que desea regar, lo que permite mejorar la efectividad del riego y altos volúmenes de producción de caña. Se pueden seleccionar técnicas que presentan características comunes con la zona y elegirse entre ellas las que mayor efecto económico brinde (Tabla 10.7).

Tabla 10.7. Parámetros utilizados para la selección de las técnicas de riego a emplear en el cultivo de la caña de azúcar.

Técnica de riego	Pendiente (%)	Vi (mm/hora)	NPB (m ³ /ha)	Velocidad del viento (m/s)	Profundidad efectiva (cm)
Goteo	-	-	-	-	-
Gravedad	0,2-0,6	5-50	-	-	35-50
Aspersión	≤ 1,0	50-100	< 500	< 3,0	-
Máquinas	≤ 2,0	50-100	< 500	3,0-5,0	-

Vi: Velocidad de infiltración. NPB: Norma parcial bruta.

10.6. PRONÓSTICO DE RIEGO

Procedimiento para determinar la fecha en que es necesario aplicar el riego y la magnitud de la norma parcial requerida, lo cual permite explotar los sistemas con la calidad requerida, obtener mayores rendimientos por unidad de volumen de agua aplicada, entregar el agua en la cantidad requerida y en el momento oportuno, incrementar el aprovechamiento de la lluvia en la etapa de riego, contribuir al ahorro de agua, energía y fuerza de trabajo. El momento en que el riego debe aplicarse es variable con la época de siembra (etapa de desarrollo del cultivo), tipo de suelo, técnica de riego empleada y condiciones climáticas.

10.6.1. Métodos para determinar la fecha de riego

Método de intervalos fijos: En el proyecto de explotación se prefijan los intervalos a utilizar según un estudio estadístico de probabilidades de ocurrencia de la lluvia y los requisitos del cultivo. No se consideran algunas variaciones en el comportamiento de la planta, ni las características del año en curso con relación al año seleccionado por proyecto, por lo que a menudo el riego se aplica en exceso o en defecto. Este método es más efectivo en climas áridos, donde el riego es el único aporte de agua a las plantas y las condiciones climáticas son muy similares de un año a otro.

Riego por la humedad presente en el suelo: Es el método más preciso y consiste en determinar la humedad presente en el suelo, la cual se puede medir con el uso de sondas de neutrones, tensiómetros, resistencia eléctrica, o mediante muestreo gravimétrico. Este método es el más exacto, pero el más caro y más trabajoso para su

extensión a grandes áreas de regadío. En muchos casos se utiliza como método de control.

Métodos biológicos: Se basa en el estado fisiológico de las plantas. En ellas se observa la respuesta de determinados órganos a la falta de humedad para determinar el momento del riego. Es poco seguro y de uso limitado, no es recomendable para la caña de azúcar.

Métodos bioclimáticos: Se basa en la relación existente entre la evapotranspiración del cultivo (consumo de la planta + evaporación del suelo) y uno o más elementos climáticos. Los que más se utilizan mundialmente son la evaporación de una superficie libre de agua, la temperatura ambiente, la humedad relativa y la radiación solar. En la caña de azúcar el más utilizado es la evaporación del tanque evaporímetro Clase A. En Cuba los resultados de las investigaciones han demostrado que la evaporación es un elemento que ofrece buena correlación con la necesidad hídrica de los cultivos, siendo el método que está generalizado para determinar el momento de riego (pronóstico de riego) para la caña de azúcar.

El pronóstico de riego se fundamenta en la ecuación de balance hídrico, la cual puede ser simplificada por un balance de entradas y salidas (ingresos y egresos). La ecuación se puede simplificar como sigue:

$$D = ETr - LLa - N$$

Dónde:

D=Déficit de humedad presente en el suelo (m³/ha). Diferencia entre la reserva máxima y la reserva de humedad inicial en el suelo.

ETr=Evapotranspiración real (m³/ha)

N=Norma neta parcial de riego (m³/ha)

Lla=Lluvia aprovechable (m³/ha)

La Etr constituye el elemento fundamental en la ecuación de balance, ya que presenta el consumo de agua del cultivo y se determina por la ecuación:

$$Etr = Eo \times Kc$$

Dónde:

Eo=Evaporación del tanque evaporímetro clase "A".

Kc=Coefficiente bioclimático que representa la relación entre la evapotranspiración del cultivo y la evaporación. Según plantean Lamelas y Roque (2012) se determina experimentalmente por decenas, relacionando los Kc por fases de desarrollo de la caña de azúcar, cepas y regiones del país (Tabla 10.9)

Tabla 10.9. Coeficientes de cultivo (Kc) por cepas, fases de desarrollo y condiciones climáticas.

Etapa de desarrollo	Cepa	Región occidental	Hab.	Mtzas , Cfgos y S. Sp.	V. Clara, C. de Ávila y Camagüey	Región Oriental
Brotación	Planta	0,42	0,40	0,55	0,41	0,50
	Retoño	0,49	0,45	0,47	0,98	0,43
Cierre de campo	Planta	1,07	1,01	1,11	0,90	1,03
	Retoño	1,04	0,97	0,98	0,79	0,90
Auge de crecimiento	Planta	1,14	1,07	1,17	1,10	1,05
	Retoño	1,29	1,17	1,28	1,21	1,13
Maduración	Planta	0,79	0,71	0,90	0,87	0,88
	Retoño	0,97	0,96	0,78	0,95	0,74

10.7 DRENAJE. CARACTERIZACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE LOS PROBLEMAS DE DRENAJE SUPERFICIAL Y SUBSUPERFICIAL. RECOMENDACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

Un problema importante y extendido lo constituye el mal drenaje, asociado generalmente a suelos con presencia de hidromorfía. La caña de azúcar necesita de una adecuada relación entre el aire y el agua presentes en el suelo para expresar a plenitud todo su potencial productivo. Cuando el exceso de humedad sobrepasa los 3 días consecutivos (tiempo permisible de inundación de este cultivo) se entorpece el normal desarrollo de la plantación, sobre todo si esto ocurre en las etapas de brotación y ahijamiento.

El mal drenaje ocasiona pérdidas entre 5 y 20% del rendimiento agrícola en dependencia de la gravedad del problema. Las afectaciones pueden ser superiores al 30% cuando el encharcamiento se produce en los primeros meses durante la germinación y el ahijamiento, por otra parte también degrada la estructura del suelo, favorece la salinización, afecta en general las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y crea serios problemas para el trabajo de la maquinaria.

En la agricultura cañera cubana existen áreas de suelos afectadas por mal drenaje, ubicados mayormente en las zonas bajas y cercanas a las costas. Con frecuencia, los problemas de mal drenaje se encuentran asociados a la salinización secundaria; lo cual repercute en pérdidas significativas de rendimientos, reducción de la durabilidad de las cepas, degradación acelerada de las tierras y pérdidas crecientes de su productividad y fertilidad, asociadas a otros fenómenos negativos que causan grandes perjuicios económicos y ambientales.

Los problemas de mal drenaje superficial y subsuperficial o interno de los suelos requieren tratamientos diferentes desde el punto de vista práctico y demandan soluciones tecnológicas distintas. Cuando se trata del drenaje asociado al área plantada (campo y bloque de caña) se denomina «drenaje parcelario».

Principales causas asociadas con el mal drenaje

- Propiedades físicas del suelo desfavorables.
- Presencia de capas impermeables en el perfil del suelo.
- Cuantiosas e intensas precipitaciones.
- Relieve llano acompañado de poca pendiente.
- Existencia de un manto freático alto.
- Degradación de la estructura del suelo por exceso de laboreo y mal manejo.

Efectos beneficiosos del drenaje

- Mejorar las condiciones de aireación y temperatura del suelo, beneficiando el desarrollo radicular y la brotación.
- Evitar el encharcamiento, limitando el proceso de salinización del suelo y la reducción de la población por falta de oxígeno en las raíces de la caña.
- Ampliar el periodo de cosecha y mejorar la ejecución de las labores mecanizadas al disminuir la humedad excesiva en un plazo breve de tiempo.
- Facilitar la madurez uniforme de la caña, con el consecuente aumento de los rendimientos azucareros.

El drenaje parcelario puede garantizar, incrementos de rendimientos agrícolas que pueden fluctuar de 30 a 50% en relación con los suelos mal drenados que no tengan construido el sistema, además contribuye a aumentar la vida útil de las cepas de caña.

10.7.1 Caracterización y categorización de los problemas de drenaje

Antes de acometer cualquier acción en las unidades de producción es importante caracterizar y categorizar los problemas de drenaje de las áreas cañeras, mediante la recopilación de estudios e informes existentes y reconocimiento de campo.

La categorización se realiza tomando como base la pendiente del lugar y la velocidad de infiltración (Tabla 10.8).

Tabla 10.8. Categorización del drenaje superficial mediante la velocidad de infiltración del agua y la pendiente del terreno.

Pendiente (%)	Velocidad de infiltración (mm/día)				
	< 1	1-5	5-10	10-20	> 20
< 0,1	PD	PD	ID	MD	MD
0,1-0,3	ID	ID	MD	BD	BD
0,3-0,5	ID	ID	MD	BD	BD
0,5-0,7	ID	ID	MD	BD	ED
>0,7	MD	MD	BD	ED	ED

P=Pobre. I=Insuficiente. M=Moderado. B=Bueno. E=Excesivo. D=Drenado.

10.7.2 Tecnologías de drenaje para las áreas cañeras

En función de los problemas que se presenten en cada unidad, área o bloque específico, se utilizarán las tecnologías de drenaje y las posibles combinaciones siguientes:

Drenaje elemental: Tipo de drenaje superficial de trazado irregular, que conecta las depresiones naturales del terreno mediante badenes o zanjas de poca profundidad y taludes inclinados; de forma que no obstaculicen el tránsito de la maquinaria agrícola. No requiere ninguna labor complementaria de modelación de la superficie del suelo (alisamiento o nivelación) y es descargado finalmente en la red de drenaje mayor (drenajes colectores).

Nivelación básica: Conformación de la superficie del suelo, destinada a garantizar el escurrimiento del agua excesiva e impedir su estancamiento en las micro-depresiones y vaguadas naturales del terreno. Se ejecuta con maquinaria pesada de movimiento de tierra, rellenando las partes bajas y alisando las partes altas; de manera tal de lograr una pendiente uniforme y continua en la dirección de los surcos de riego y drenaje. Requiere de levantamiento topográfico a escala igual o mayor de 1:2000 y proyecto técnico–ejecutivo; constituye una inversión para el fomento o la reposición de las áreas cañeras en suelos de mal drenaje. El uso de equipamiento láser puede contribuir a abaratar y garantizar buena calidad en el trabajo.

Alisamiento: Conformación de la superficie del suelo realizada con land plane, destinada a emparejar micro-depresiones y micro-alturas no mayores de 5 cm. Requiere de levantamiento topográfico a escala igual o mayor de 1:2000, no demanda de proyecto técnico–ejecutivo; puede constituir en algunos casos el trabajo final o de terminación de la nivelación básica.

Drenaje sistemático horizontal: Red de canales de drenaje, caracterizada por una distribución uniforme en el área drenada. Para la caña de azúcar, generalmente dicha red se encuentra asociada a la unidad de manejo (bloque o campo), el espaciamiento entre canales, zanjas y badenes es múltiplo o coincide con el trazado de las guardarrayas y los viales.

Badenes: Canales terciarios (secadores) de drenaje superficial, que colectan el agua remanente de las lluvias o el riego directamente de los surcos. Se construyen transversalmente a la dirección de la máxima pendiente, y su espaciamiento es de 100-125 m para suelos areno arcillosos y de 250 m o superior para los arcillosos.

Zanjas estacionales: Zanjas de drenaje de poca profundidad, que se tapan antes de cada cosecha y se rehabilitan una vez concluida ésta.

Banco o cantero, semibanco: Soluciones de drenaje superficial para suelos arcillosos pesados, consistentes en la plantación de la caña en un camellón conformado con implementos especiales y flanqueado por surcos “muertos”; hacia los que escurre el agua excesiva con destino a los badenes. La altura del banco o cantero es de 20-30 cm sobre el suelo, y la separación entre surcos muertos de 1,60 m. Esta solución se orienta en el sentido de la mayor pendiente.

Drenaje vertical: Soluciones de drenaje mediante pozos absorbentes o de bombeo; y destinadas a aliviar la carga a presión de los acuíferos confinados, que produce el ascenso del nivel freático con el consecuente sobre-humedecimiento del perfil del suelo. La situación de mal drenaje que origina la necesidad de estas medidas es muy poco frecuente en Cuba.

Subsoladura profunda: Practicada a más de 60 cm de profundidad, utilizando implementos provistos de dos o tres rejas acoplados a tractores de 120 HP de potencia o más. Esta medida se utiliza frecuentemente para favorecer el movimiento del agua freática hacia las tuberías o canales de drenaje subsuperficial, en suelos arcillosos pesados de muy baja conductividad hidráulica.

Aradura profunda: Medida dirigida a elevar hacia la superficie un subsuelo de mejor calidad, realizando el volteo de las capas del subsuelo hasta 60 cm de profundidad como mínimo. Requiere de arados especiales de una reja y de suelos con muy buena profundidad de la capa arable.

Aflojamiento profundo: Labor similar a la aradura profunda y que se ejecuta con arados especiales de desfonde, caracterizados por su robustez y gran tamaño. Puede llegar a alcanzar hasta los 80 cm de profundidad según las características de los suelos.

Drenaje topo: Se refiere a una galería practicada en el subsuelo, a una profundidad de 0,40-0,60 m, destinada a eliminar las capas freáticas “colgadas” procedentes del sobre-riego o la lluvia y que conduce el agua hasta un emisor de drenaje abierto o soterrado. El drenaje topo se ejecuta con un arado especial provisto de un cuerpo cilíndrico (obús) que va conformando el conducto en el subsuelo en el sentido de la surquería, y requiere de características especiales del suelo en cuanto al contenido de arcilla; que deberán definirse puntualmente mediante análisis previos de la textura.

Sobredosis de riego: Como tal se entiende la lámina de riego que excede la magnitud de la norma parcial neta para la condición edafoclimática y cultural específica; destinada a lixiviar las sales en exceso del perfil del suelo de manera paulatina. Para que esta técnica sea efectiva se requiere de sistemas de drenaje subsuperficial que evacuen las sales lixiviadas.

Lavados capitales: Técnica de recuperación de suelos fuertemente salinizados; basada en la inundación de la superficie del terreno en terrazas con láminas de al menos 30 cm de agua, con el objetivo de lixiviar las sales hasta límites que no afecten el normal desarrollo del cultivo. Requiere de sistemas de drenaje subsuperficial de gran profundidad (> 2 m) que evacuen las sales lixiviadas.

Drenaje temporal abierto: Tipo de canales de drenaje de 0,80-1,00 m de profundidad, que se construyen con carácter temporal para acelerar la remoción de las sales y el agua de drenaje durante los lavados capitales.

10.7.3 Métodos de drenaje

Los métodos de drenaje más usados en caña de azúcar son los superficiales y los agrotécnicos. La nivelación es un elemento imprescindible para el drenaje superficial de grandes extensiones agrícolas con relieve llano y poca pendiente. En la Figura 10.11 se puede observar un canal de drenaje y los efectos que produce la acumulación de agua por varios días en la caña de azúcar. Cuando el problema de

drenaje es muy complejo se hace necesario utilizar técnicas de drenaje combinado que requieren de tecnología especializada como el drenaje parcelario.



A **B**
Figura 10.11. A. Canal de drenaje. B. Campo de caña afectado seriamente por los efectos del mal drenaje (inundación por más de tres días).

10.7.3.1 Drenaje parcelario

El drenaje parcelario tiene como objetivo evacuar, el agua excesiva que se acumula en el perfil de suelos poco permeables y a veces se encharca, produciendo afectaciones en el desarrollo de la planta y cuando los períodos son más prolongados, la muerte. Mediante la nivelación y la construcción de canales y obras de fábrica se facilita que la acción de la gravedad mueva el agua excesiva de los campos caña hacia las zonas más bajas para evacuarla a través de vaguadas, arroyos, canales de mayor orden o ríos.

La construcción del drenaje facilita la creación de un ambiente favorable para el crecimiento radicular y como consecuencia el normal desarrollo de la caña. Al determinar la apropiada proporción de agua y aire en el suelo, elimina la principal causa de muerte de las cepas, en aquellos suelos de mal drenaje natural y evita el empantanamiento, limitando el ascenso de las aguas subterráneas mineralizadas que pueden provocar la salinización de los suelos con sus graves consecuencias. Los suelos más afectados son los arcillosos, donde predominan las arcillas del tipo 2:1 ubicados en las zonas más bajas, por lo regular llanos y con muy poca pendiente.

El drenaje superficial parcelario ingeniero consiste en la ejecución de una red de drenaje que va desde el badén, encargado de evacuar el agua excedente proveniente de los surcos, hasta el secundario de drenaje, que la conducirá hacia los canales vertedores, ubicados fuera del bloque cañero. Incluye también la rectificación del micro-relieve del área, mediante trabajos de nivelación con máquinas especializadas en movimiento de tierra, así como la construcción de un número de obras de fábricas que facilitan la utilización de viales, ejecución del riego y el movimiento de los equipos agrícolas. El mantenimiento de los canales de la red mayor es fundamental para que funcione eficientemente todo el sistema.

Requiere de máquinas especializadas y recursos materiales y técnicos, determinados por los proyectos, que generalmente integran los sistemas de riego y drenaje. El drenaje superficial ingeniero se puede ejecutar en los bloques cañeros, independientemente de si tienen riego o no, así como de la técnica de riego que se utilice.

10.7.3.2 Drenaje parcelario no ingeniero

Esta es una solución temporal para los bloques cañeros, que en la fecha de plantación no pueden ser beneficiados por el drenaje parcelario ingeniero. Mediante esta solución se puede evacuar una buena parte del agua excesiva y obtener considerables aumentos de los rendimientos agrícolas. Su simple ejecución, con un mínimo de equipos de construcción y recursos materiales, resuelve parcialmente los efectos dañinos del sobre-humedecimiento y los encharcamientos.

Se aplica la nivelación del terreno con el uso adecuado del land plane, que aunque no elimina todas las depresiones y micro-alturas del área, la mejora notablemente, facilitando la evacuación del agua excesiva por los surcos. El uso de zanjeadores contribuye a evacuar el agua localizada en zonas más bajas y hasta con un arado de vertedera tirado por bueyes se puede lograr en muchos casos.

La red de badenes, terciarios y secundarios de drenaje tienen igual concepción y trazado que en la solución definitiva, excepto que los badenes de drenaje deben ser espaciados de forma específica para cada caso en particular, con vistas a compensar las deficiencias de la nivelación.

10.7.4 Nivelación del terreno

La nivelación del terreno para el drenaje superficial consiste en la conformación de la superficie del mismo, cortando, rellenando y alisando con el fin de lograr superficies planas continuas, sin cambios de pendientes que puedan afectar el movimiento del agua.

La nivelación es una operación costosa y compleja que debe realizarse sólo una vez con maquinaria especializada (Figuras 10.12 y 10.13), cuidando de no afectar la disposición de las capas del suelo para evitar las pérdidas de la fertilidad, por lo que se deben tener en cuenta las características físicas y la profundidad de los suelos, que se someterán a estos trabajos.



A

B

Figura 10.12 Niveladora láser con eyector. A. Modelo NLE-10 con compuerta. B Modelo NLE-10 con tráiler para transmisor láser. El diseño de esta generación de niveladoras permite cortar, cargar y transportar la tierra.

La nivelación básica debe efectuarse con el suelo seco sin roturar, para lograr la máxima productividad de la maquinaria, evitar la degradación y la excesiva compactación por el traslado continuado de las máquinas de movimiento de tierra sobre el terreno. La nivelación láser desarrollada en las últimas décadas ha dado muy buenos resultados por la calidad del trabajo que se realiza.



A

B

Figura 10.13. Alisadoras láser sin eyector. A. Modelo AI-10. B. Modelo AI-10 con tráiler para transmisor láser, diseñadas especialmente para operaciones finales de remodelación de un campo y para mantenimiento de áreas micro-niveladas.

Mantener la red de drenaje de los campos de caña permite:

- Ampliar el período pico de las siembras al inicio de primavera, disminuyendo notablemente las pérdidas ocasionadas por exceso de humedad.
- Lograr incrementos del 30-50% en los rendimientos de las áreas beneficiadas.
- Aumentar la vida útil de la cepa, al menos uno o dos cortes, esto significa un mínimo de 69,15 pesos/ha/año de ahorro en gastos de fomento y representa 20-40% menos de siembras anuales.

Los costos aproximados de las labores de drenaje son:

- Alisamiento con land-plane: entre 150-200 pesos/ha.
- Nivelación: entre 500-700 pesos/ha.
- Drenaje parcelario: entre 700-1 100 pesos/ha.

CAPÍTULO 11

ESTIMADOS, PROGRAMACIÓN DE CORTE Y COSECHA

Luis Humberto Soler Figueroa

Yoel Betancourt Rodríguez

Hipólito Israel Pérez Iglesias

Los eslabones finales de la cadena productiva de la caña de azúcar, centran su atención en aspectos importantes y que requieren de un elevado nivel de organización y sincronización, para lograr extraer, el máximo de azúcar acumulada en los tallos de caña, que son llevados al central como materia prima, para la fabricación de azúcar y los resultados finales, indicador por el que se mide todo el esfuerzo realizado en la larga cadena del proceso productivo, “toneladas de azúcar producidas” no sean bajos.

11.1 ESTIMADOS

El primer paso que se realiza de este proceso, es el estimado de la cantidad de toneladas de caña, con que se cuenta para realizar la zafra, a partir del cual se planifica el resto de las operaciones. En la realización del mismo se conjugan múltiples factores fitotécnicos, edáficos y climáticos.

11.1.1 Desglose del estimado

De acuerdo con el destino de la caña, el estimado se desglosa en:

Molible: Corresponde con la caña destinada a «moler» en la zafra.

No molible: Corresponde con la caña planificada a «dejar quedar» para la zafra siguiente, la destinada a «semilla» a utilizar en la plantación y cañas para otros usos.

11.1.2 Confección del estimado

Se confecciona en tres momentos diferentes y cada uno con objetivos propios:

Estimado de junio 30: Tiene carácter preliminar, ofrece un pronóstico sobre la disponibilidad de caña a moler y sirve de base para el pre-plan de zafra. Se debe elaborar la estrategia mensual de cortes para conocer posibles desfases de acuerdo a la arrancada del central y así adelantar o atrasar ésta para mejorar los desfases.

Estimado de septiembre 30: Es el más importante, es definitivo. A partir del mismo se elabora el plan de zafra y la estrategia mensual de corte.

Estimado rectificado de febrero 28 o 29: Con este estimado se mide el comportamiento del estimado oficial de septiembre y se hacen los ajustes necesarios a la organización de la zafra, para su continuación y culminación. También se precisa y ordena la caña a dejar quedar para la próxima zafra.

11.1.3 Caña a dejar quedar

El programa para dejar quedar la caña tiene que responder al objetivo de lograr materia prima con la calidad necesaria, para comenzar la zafra en noviembre-diciembre, preservando los **fríos y retoños** para el período óptimo (marzo-abril 15). El área a dejar quedar, estará determinada en cada Unidad Productora por centro de recepción y frente de corte, de acuerdo con las características de los suelos. El objetivo es lograr altos rendimientos agrícolas en el área cosechada con el incremento de la edad de corte, con lo cual se alcanza mayor producción de caña y azúcar, así como estabilidad en los niveles de producción y reducción del costo.

11.1.4 Control del estimado

Durante la ejecución de la cosecha se realiza un riguroso análisis del comportamiento del estimado oficial en cada campo cosechado, comparando el rendimiento real obtenido por cepas y variedades con el rendimiento estimado. Se realiza con frecuencia decenal, tomándose los valores parciales y acumulados de la caña cortada. Estos resultados permiten valorar la disponibilidad de caña y su relación con el volumen de azúcar a producir, así como establecer prioridades en la cosecha de las diferentes cepas y variedades.

11.1.5 Liquidación de estimados

Cuando concluye la cosecha, se procede a reflejar los resultados reales obtenidos en las áreas cosechadas, con el mismo nivel de detalle que se confeccionó el estimado de septiembre 30. Se cuantifica la producción total de caña, que comprende la caña molida, la dejada para la próxima zafra y la semilla utilizada y por utilizar.

11.2 PROGRAMACIÓN DE CORTE

La programación de corte consiste en ordenar la cosecha atendiendo al período de mayor potencial azucarero de las variedades de caña, para lo cual se parte de la influencia que ejercen los factores variedad, cepa, edad y suelo (INICA, 2007).

Una vez confeccionada la estrategia mensual de cortes, a los bloques programados para cada mes, con 8 a 10 días de antelación, se realiza el muestreo de cañas para determinar el grado de madurez, mediante el brix refractométrico, de esta forma se puede establecer un orden de corte, para cada decena, priorizando los bloques que presenten mayor contenido de azúcar. Se conocen dos métodos: la determinación del índice de madurez (IM) por el brix superior e inferior y la determinación del brix superior (entrenado +7), ya que hay alta correlación entre el brix del entrenado +7 y el IM de la caña. Es considerable la cantidad de azúcar que se obtiene con el mismo volumen de caña por el solo hecho de programar los cortes de acuerdo a la madurez de las cañas, por tanto es importante que los productores estén muy atentos para que este programa no se viole.

Para determinar el entrenado +7 (Figura 11.1), se comienza a contar de arriba hacia abajo, la hoja del primer dewlap visible se corresponde con el primer entrenado que está en desarrollo (hoja +1) por tanto la hoja +7 es la que corresponde al entrenado +7 (Van Dillewijn, 1973).

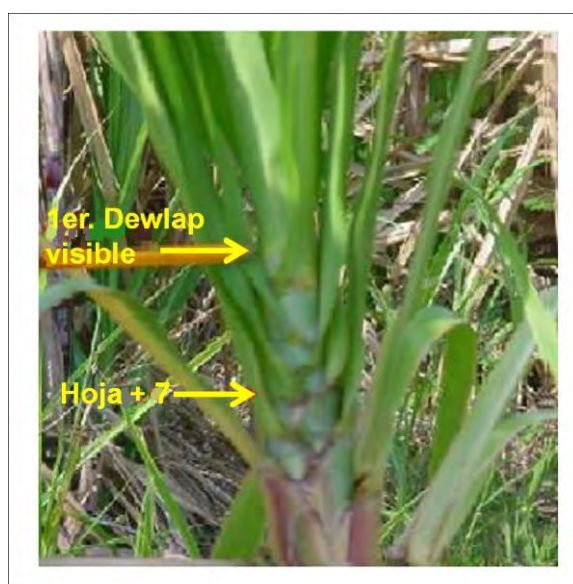


Figura 11.1. Reconocimiento del entrenado +7 en un tallo de caña de azúcar.

11.2.1 Estrategia de corte

La estrategia de corte consiste en ordenar la cosecha, atendiendo al período de mayor potencial azucarero de la caña, para lo cual se parte de la influencia que ejercen los factores: variedad, cepa, edad y suelo, los que constituyen los fundamentos técnicos para confeccionar el programa de corte. La cosecha de las distintas cepas, se programarán teniendo en cuenta el comportamiento local de los períodos óptimos, que generalmente son:

- **Cañas quedadas**: Desde el inicio de zafra hasta el 28 o 29 de febrero. Dentro de las quedadas, se priorizan las re-quedadas y los retoños quedados, posteriormente las primaveras quedadas.
- **Cañas de frío**: Desde el 15 de enero hasta el 15 de marzo.
- **Primaveras del año**: Desde marzo hasta finales de zafra.
- **Retoños del año**: Durante todo el período.

En general es deseable que la edad media de corte del total de las cepas esté entre 13 y 14 meses.

11.2.2 Período de zafra

Se considera que una zafra es eficiente, cuando se logra el mayor volumen de producción de toneladas de azúcar, con la menor cantidad de toneladas de caña molidas, para lo cual es importante enmarcar la cosecha, para realizarla, durante el período óptimo de rendimiento azucarero de los cultivares plantados, de manera que partiendo de una disponibilidad de caña a moler y conociendo el comportamiento decenal y acumulado, del rendimiento de cada ingenio, se pueda planificar el menor período para realizar la zafra.

11.2.3 Uso de maduradores

El objetivo central de la aplicación de maduradores es adelantar la maduración y disponer durante más tiempo de materia prima con indicadores de calidad superiores para la industria, lo que a su vez permite mejor ordenamiento de la cosecha con aprovechamiento más racional de los medios que participan y otros efectos colaterales como la reducción de materias extrañas y efectividad de la transportación. Para el productor es importante cosechar la caña, con un incremento de la madurez, debido a la aplicación de maduradores, inversión relativamente baja, de rápido reembolso y elevadas ganancias.

Los maduradores más generalizados en el mundo, son productos de acción herbicida que se aplican sobre la caña a bajas dosis para reducir el crecimiento y acelerar la madurez en la fase final del cultivo, sobre todo cuando las condiciones del clima (humedad y temperatura) no son del todo favorables para la maduración natural. La acción del madurador está dirigida en lo fundamental al tercio superior del tallo y no al extremo basal donde por lo general la maduración se alcanza temprano.

La experiencia acumulada en los últimos años ha permitido incrementar el uso de maduradores en Cuba. Se han obtenido buenos resultados con la aplicación sola o combinada de los productos: Fusilade CE 12.5 y Arrow CE 24 (clethodim), Glifosato, Glifosato + Finale (a menor dosis que aplicados solos) y Finale solo, Ethrel o Flordimex (etefon).

La aplicación de maduradores es una actividad que requiere esmerada atención del equipo técnico de la unidad productora, a la vez que beneficia el rendimiento azucarero, no debe dañar los cultivos colindantes, por tanto se seleccionarán áreas con posibilidades de aplicación aérea, con buenos rendimientos agrícolas (nunca inferiores a 35 t ha⁻¹) que no estén afectados por estrés (déficit hídrico, enfermedad o

deficiencia nutricional), ubicadas en suelos de buen drenaje y acceso vial en buen estado, procurando que no se extienda la cosecha más de 45 días.

11.2.4 Inhibición de la floración

El control de la floración y el acorchamiento tienen como objetivos principales lograr mayor rendimiento de caña en variedades de alta floración (como la CP52-43), mayor potencialidad de manejo varietal al permitir cosechar variedades florecedoras a mediados y finales de zafra, mejor calidad del azúcar (como consecuencia de la mejor clarificación del jugo), y mejor aprovechamiento del transporte (los dos últimos y el primero como consecuencia de la reducción del acorchamiento de los tallos).

La literatura internacional reporta que las fechas óptimas de aplicación del inhibidor de floración deben ser entre, una y tres semanas antes del cambio de primordio vegetativo en floral. Estudios realizados en diferentes localidades de Cuba, con la aplicación de Ethrel LS 48 (etefón) sobre los rendimientos, la calidad y el manejo en la variedad de caña de alta floración CP52-43, en diferentes dosis y fechas de aplicación, mostraron los mejores resultados con dosis de 1,5 l ha⁻¹, aplicado entre agosto 27 y septiembre 8, con el óptimo o máximo control cuando se aplicó entre el 31 de agosto y el primero de septiembre. La aplicación de Etefón o Ethrel como inhibidor de la floración permite que la caña siga creciendo, lo que sumado a la ausencia de deterioro, por no existir acorchamiento del tercio superior, origina un incremento del rendimiento agrícola de 8-12 t ha⁻¹ en cosechas realizadas de enero a marzo.

11.3 COSECHA

La cosecha es una labor agrícola muy compleja, debido al nivel de mecanización demandado para realizar las operaciones de corte, alza y transporte de la caña, al tiempo corto que se dispone y a los altos requerimientos de recursos materiales, financieros y humanos, por lo que uno de sus éxitos estriba en la adecuada planificación y organización de los trabajos a realizar.

La cosecha requiere de un vínculo estrecho, entre aspectos agronómicos y propios de la mecanización agrícola, de manera que al conformar la cadena vinculada a la cosecha todos sus eslabones logren un flujo continuo del material cosechado hacia la industria, permitiendo el cumplimiento de la tarea diaria planificada en el tiempo requerido para que la caña cosechada no se deteriore y disminuya el contenido en azúcar. Es la etapa final del proceso de producción de la caña de azúcar, donde el productor obtiene los beneficios de un período que comprende un año como mínimo.

11.3.1 Sistemas de cosecha

Esta operación no debe verse aisladamente por ser el eslabón que culmina una etapa y da lugar a la siguiente dentro de dicho proceso y por determinar, según la forma de realización, el manejo agronómico que se realizará a la cepa subsiguiente. La misma consta de tres operaciones básicas: corte, alza y transporte. Atendiendo a las condiciones del campo se pueden manejar dos formas de cosechar la caña de azúcar: verde o quemada.

De los perjuicios del empleo de la quema en la cosecha cañera se derivan las ventajas de la cosecha en verde, pero adicionalmente se pueden obtener otras adicionales, entre las que se destacan:

- Prolongación de la vida útil de la cepa con el manejo agronómico adecuado.
- Reducción de los costos de producción de caña.
- Obtención de abono orgánico, energía y alimento animal mediante el empleo de los residuos de cosecha.

Por otra parte, considerando los medios utilizados la cosecha se puede clasificar como manual, semi-mecanizada y mecanizada. Las características generales en cada caso son:

1. **Manual:** Corte y el alza de caña limpia manual (actualmente abolido en Cuba) El tiro se ejecuta con carreta tiradas por animales, tractores y camiones.
2. **Semi-mecanizada:** El corte se realiza manual (caña limpia o con paja), se alza mecanizadamente y se transporta con camiones o tractores provistos de remolques. Si es caña limpia se envía directo al basculador, si lleva paja al centro limpieza.
3. **Mecanizada:** El corte y el alza se realizan mecanizadamente (es el más generalizado en Cuba) y se transporta con camiones o tractores provistos de remolques directo a basculador (caña limpia, cosechadoras provistas de corta cogollos) a centro de limpieza (caña con paja).

11.3.2 Medios empleados en la cosecha de la caña

Cuba es uno de los países con más alto nivel de mecanización en la cosecha cañera. Según AZCUBA (2012b); en la zafra 2011-2012 se cosechó el 90% de forma mecanizada, participando alrededor de 1 450 máquinas de proceso completo, representado en su mayoría (93%) por KTP de fabricación nacional y de forma poco representativa las importadas, con el 5,5% por las CASE y el 1,5% restante por otras marcas (TOFT, CLAAS y CAMECO). En la cosecha semi-mecanizada, para el alza se emplearon un total de 287 alzadoras de las cuales cerca del 90% son tradicionales (montadas sobre tractor Yumz) y el 10% restante de la marca BMH.

Para el transporte se utilizan diferentes medios, carretas tiradas por bueyes, remolques tirados por tractor (YUMZ, MTZ, NEW HOLLAND, CASE), diferentes marcas y modelos de camiones (ZIL, HINO, KAMAZ, SCANIA) con y sin remolque con capacidad desde 7 hasta alrededor de 60 toneladas y el ferrocarril. Además, en los casos en que se utiliza el sistema de trasbordo se emplean remolques auto-basculante tirados por tractor. También, con el propósito de reducir el nivel de impurezas de la caña que va al ingenio y en dependencia del sistema de cosecha utilizado se encuentran los centros de acopio o centros de limpieza.

11.3.2.1 Alzadoras

Por lo general las alzadoras de caña son autopropulsadas posibilitando su empleo en otras aplicaciones en el período posterior a la cosecha. Dentro de las autopropulsadas se encuentran dos alternativas: las montadas sobre tractor (Figura 11.2A) y las diseñadas como tales (Figura 11.2B).

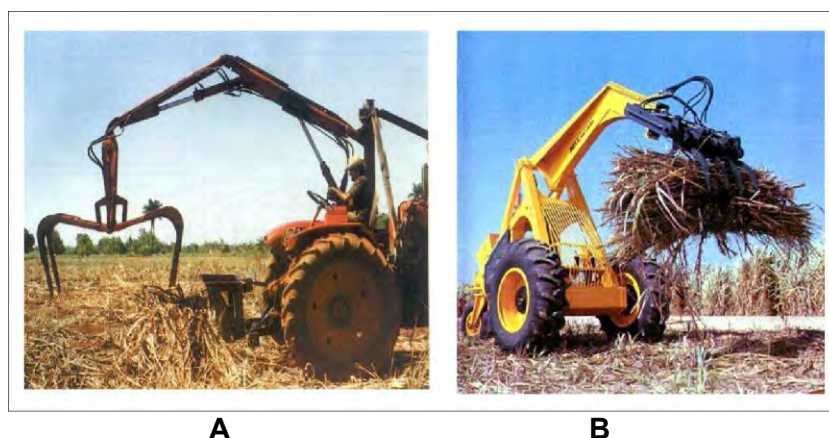


Figura 11.2. A. Vista del modelo de alzadora autopropulsada montada sobre tractor. B. Alzadora con diseño específico.

La productividad de las alzadoras de caña puede estar en el rango de 30 a 100 t/hora en dependencia del equipo que se utilice.

11.3.2.2 Cosechadoras de proceso completo

Sistema de corte y alimentación: Las cosechadoras, en su mayoría, están dotadas de corta cogollo encargado de realizar el primer tratamiento a la caña para eliminar materias extrañas. El principio de corte más generalizado es el corte con cuchilla. Adicionalmente y en aras de facilitar las labores post-cosecha, a este componente se le ha incorporado el triturador, cuya función radica en la trituración del cogollo en partículas inferiores a 100 mm.

Las cosechadoras presentan en el extremo delantero 2 guías, llamadas puntas divisoras y tambores rotativos o sinfines inclinados, destinados a levantar los tallos caídos. Con vistas a trabajar en campos de muy alto rendimiento algunas máquinas se han dotado de cuchillas laterales que cortan las cañas de surcos aledaños que se entre cruzan con el que se está cosechando, este sistema tiene el inconveniente que una parte importante de esas cañas no se recogen al cosechar la hilera vecina y constituyen pérdidas. Otras cosechadoras, sin embargo, están dotadas de doble tambor rotatorio a cada lado de la hilera incrementando la eficiencia en la separación de las cañas entre las hileras (Figura 11.3).

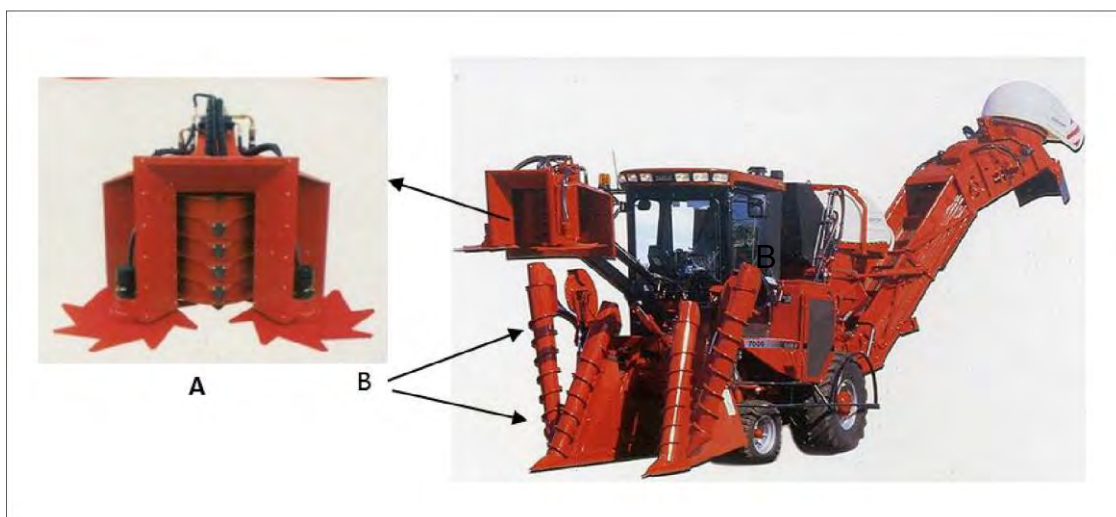


Figura 11.3. Cosechadora de caña de azúcar CASE IH Modelo 7000. A. Triturador de cogollo B. Doble tambor rotatorio.

Delante de los discos de corte inferior están las barras empujadoras o un tambor tumbador que le imprimen cierta inclinación a la caña para facilitar su corte. La caña entra a la máquina al ser cortada por los dos discos que giran a unas 1 000 rpm, uno a cada lado de la hilera. Es evidente que la proyección frontal de los discos tendrá una pequeña elevación en el centro de la hilera (Figura 11.4), que se complementa con el acamellonamiento del surco para lograr un corte rasante.

Las irregularidades de la superficie del terreno ocasionan alturas de corte superiores a las exigidas, para solucionar dicha problemática los fabricantes han introducido en las cosechadoras modernas la regulación de la altura por medio de rayo láser, fundamentado en el principio óptico. Una vez que la caña es cortada en su base se traslada hacia el órgano troceador mediante los rodillos alimentadores.

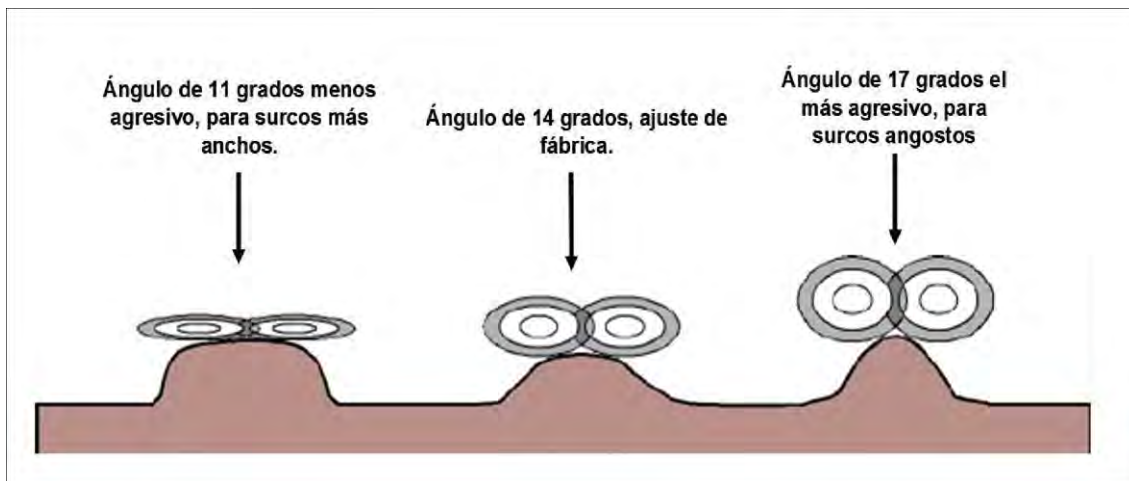


Figura 11.4. Ajuste del cortador de base, en función de las características del relieve del surco, en la cosechadora CAMECO, modelo CH 3500.

Sistema de troceado y limpieza: Dentro de los objetivos que se persiguen con el troceado de la caña están la transformación en un producto transportable a granel y la creación de las condiciones para la separación de las impurezas. La caña se corta en trozos de 300 a 400 mm de largo, mientras más cortos sean los pedazos mejor será la eficiencia de la limpieza. Después de troceada la caña, los ventiladores se encargan de eliminar gran parte de las impurezas.

Dado el alto porcentaje de aplicación de las cosechadoras de proceso completo en Cuba, resulta importante destacar las principales exigencias agrotécnicas y tecnológicas vinculadas a ellas, según Rodríguez *et al.* (2007) son las siguientes:

1. Cortar tallos con longitudes de hasta cinco metros y rendimiento de 200 t ha⁻¹.
2. Garantizar un acamellonamiento entre 70-100 mm en el centro de la hilera, en las áreas donde no se planta en cantero.
3. Lograr pérdidas de cosecha inferiores al 5%.
4. Corte inferior limpio sin rajaduras en un rango inferior a los 20 mm.
5. Cosechar caña en campos con pendiente de 15% en sentido longitudinal y 12% de forma transversal.
6. Trocear tallos con una capacidad de procesamiento de una t/min en rangos de velocidad lineal de 1,04 km/h a 7,04 km/h en caña encamada o enredada.
7. Reducir los niveles de impurezas por debajo del 7% de la masa cosechada.
8. Distribuir las hojas y cogollos en la parte cosechada del campo uniformemente.
9. Alcanzar altas productividades por tiempo productivo de 14,2 t/h y 28,4 t/h en dependencia del rendimiento del campo.
10. Reducir la compactación del suelo a valores inferiores a 20 kgf/cm² después de cada pase de la cosechadora.
11. Disminuir los niveles de ruido a valores inferiores a 80 dBA (decibeles) durante toda la jornada.

11.3.3 Organización de la cosecha

La cosecha es una de las operaciones más costosas por lo que todos sus componentes deben estar perfectamente organizados, de manera que permitan un flujo tecnológico continuo con el uso racional de los recursos y medios utilizados en el proceso.

Inventario de las áreas mecanizables: Lo óptimo en una zafra sería que todas las áreas a cosechar sean mecanizables, pero infelizmente en la práctica es posible

encontrar ciertas limitaciones u obstáculos en los campos como: troncos, rocas, zanjas, árboles, entre otros, que lo impiden; por lo que se requiere de la realización del inventario de las áreas que pueden ser cosechadas con máquinas. El grado de mecanización de un área se realiza basado en la clasificación siguiente:

Área mecanizable: Son las que no presentan limitaciones para la cosecha mecanizada.

- **Áreas potencialmente mecanizables:** Se definen como las que presentan ciertas limitaciones para la cosecha mecanizada pero que existe la posibilidad de eliminarlas.
- **Áreas no mecanizables:** Son aquellas que por el grado de complejidad de sus limitaciones es muy costosa o imposible su recuperación como mecanizables.

Dentro de los objetivos a cumplir con el inventario de las áreas mecanizables están: conocer el grado de mecanización, explotar eficientemente la maquinaria, reducir las pérdidas de cosecha y el porcentaje de materias extrañas y realizar un plan de recuperación de las áreas definidas como potencialmente mecanizables.

Balance de recursos: Se define como la determinación de los recursos humanos, materiales y financieros necesarios para cumplir con la tarea diaria de entrega de caña a la industria. Dentro del balance de recursos es imprescindible determinar la cantidad de cosechadoras, alzadoras, tractores movedores, remolques auto-basculantes y los medios de transporte.

Para la selección del tipo de transporte se debe determinar la distancia crítica en la cual la utilización de un agregado resulta más económica que otro (Tabla 11.1). Dicho análisis se soporta sobre los indicadores de productividad de los agregados

Tabla 11.1. Distancia óptima para los medios de transporte cañero.

No.	Medio de transporte	Distancia óptima (km)
1	Carreta de tracción animal	0 a 2
2	Remolque tirado por tractor	3 a 5
3	Camión solo	8 a 10
4	Camión con remolques	15 a 25
5	Ferrocarril	30 a 50

El sistema de trasbordo para la transportación de la caña cosechada de forma mecanizada (Figura 11.5) es más eficiente que los demás sistemas porque:

- Reduce la compactación del suelo al utilizar llantas de alta flotación, además minimiza el daño a la cepa de caña.
- Hace más eficiente la labor de cosecha de caña de azúcar ya que el conjunto del tractor y vagón tienen menor radio de giro que un camión, esto minimiza el tiempo perdido al girar el equipo de transporte al final del surco y colocarse nuevamente en posición de trabajo en el surco adyacente.
- Permite trabajar en condiciones de altos niveles de humedad.
- Protege a la cosechadora de daños provocados por interferencias del elevador con la sección superior del equipo de transporte.
- Hace más eficiente el transporte de la caña cosechada y el traslado de la misma al central en menor tiempo.

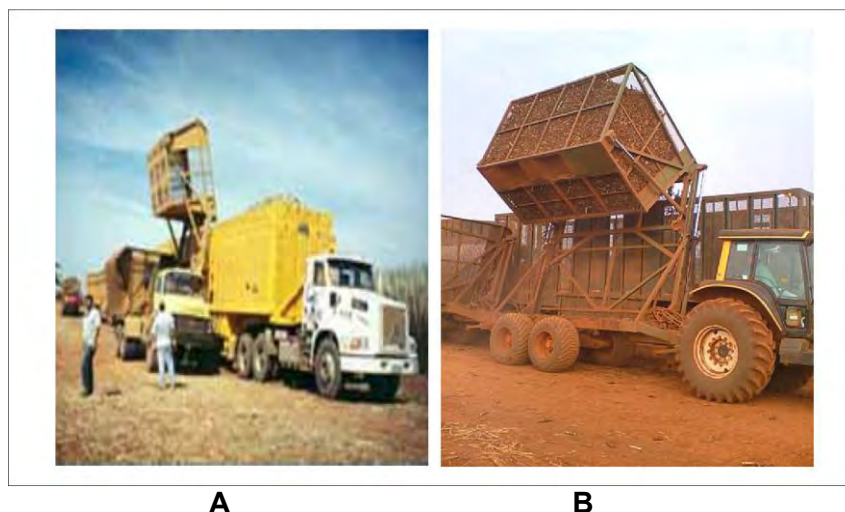


Figura 11.5. Sistema de trasbordo con remolques autobasculantes. A. Tirado por camión. B. Tirado por tractor.

Las modalidades de transporte de caña más difundidas en Cuba son:

- Transporte de caña larga en carretas de tracción animal.
- Transporte de caña larga utilizando remolques y camiones con estrobos para descargar con ayuda de un derramador.
- Transporte de caña larga o troceada en remolque y camiones con descarga por la culata con ayuda de un virador o basculantes.
- Transporte de caña larga o troceada empleando carretas y camiones con malla móvil para descarga lateral por arriba con la ayuda de un derramador.
- Transporte de caña troceada mediante remolques y camiones auto-basculantes de descarga lateral a nivel de plataforma y por arriba (VANGUARD, CAMECO).
- Transporte de caña mediante vagones de ferrocarril.
- Transporte de caña en contenedores especializados para un sistema integral (CAMECO).

Estructura de trabajo: En la cosecha mecanizada se agrupa la maquinaria en pelotón o brigadas, estructura que conforma la unidad central de trabajo. En la Tabla 11.2 se puede apreciar la composición de un pelotón de cosecha mecanizada, cuando se utilicen de dos a tres combinadas.

En general el pelotón de cosecha mecanizada está conformado por las cosechadoras, medios de aseguramiento, comunicaciones y transporte.

Tabla 11.2. Estructura de un pelotón de cosecha mecanizada.

Medios	Cantidad	Integrantes
Combinadas	2 o 3	Jefe de pelotón, operador mecánico, noviero, soldador B, computador, cocinero, enganchador.
Tractores movedores	4 a 6	
Medios de transporte	Según distancia de tiro	
Tractor de servicio	1	
Novia	1	
Moto-soldador	1	
Equipo de oxicorte	1	
Pipa con motobomba para agua	1	
Cocina comedor	1	
Planta de radio	1	

11.3.4 Índices de eficiencia de la cosecha

En la cosecha, como en otras labores agrícolas, se establecen determinados índices para evaluar la eficiencia en el trabajo realizado. Entre los importantes se encuentran:

Contenido de materias extrañas: Se refiere al contenido de impurezas que está presente en la caña cosechada. Las materias extrañas propias de la caña son: cogollo, hojas verdes, renuevos, cepas, hojas y cañas secas; no inherentes a la caña están otros como tierra, arena y piedras. El contenido de materias extrañas no está relacionado con el rendimiento del campo sino que depende fundamentalmente de las características de los medios que se utilicen y de la profesionalidad del personal vinculado a la cosecha. En la actualidad se establecen índices de materias extrañas permisibles para las máquinas de fabricación nacional (KTP) de 18%, y para las de reciente introducción como las CASE entre 5 y 8%. En la Tabla 11.3 se muestran los índices de materias extrañas establecidos en Cuba por tipo, característica y condiciones en que se realice la cosecha (INICA, 2007).

Tabla 11.3. Índice de impurezas tolerables por tipo, características y condiciones de la cosecha.

Tipo de corte	Características del corte	Impurezas (%)	
		Caña verde	Caña quemada
Mecanizado	Combinada sin corta-cogollo	12,0	10,0
	Combinada con corta-cogollo	10,0	8,0
Manual	Corte tradicional y caña larga, tiro directo al basculador	2,5	2,0
	Corte para centro de limpieza	8,0	5,0

Pérdidas en cosecha: La relación entre las pérdidas originadas por el sistema de cosecha y el rendimiento agrícola se manifiesta de forma similar a lo planteado en las materias extrañas. Se consideran pérdidas de cosecha: Cañas largas dejadas en el campo, corte alto (tocones), caña en cogollo y derrames de caña troceada.

Para determinar las pérdidas en la cosecha inmediato al corte se ha establecido una evaluación denominada **prueba rápida** que persigue como objetivos: conocer los valores reales de las pérdidas en cada condición de trabajo y determinar las causas que la originan para acometer acciones que solucionen los problemas encontrados lo antes posible. El procedimiento para realizar la prueba rápida es el siguiente:

- Identificar el lugar de muestreo. Para ello se toma una zona ubicada de dos a cuatro surcos respecto a donde está transitando en el momento de la cosecha el medio de transporte y a 20 m desde la cabecera del campo.
- Establecer la zona de muestreo en el campo. La zona de muestreo tiene una longitud de 20 m y un ancho de 1,50 o 1,60 m, que coincide con la distancia de plantación.
- Identificar las causas de la pérdida. Se separan los residuos del área de muestreo con cuidado de no eliminar porciones de caña, posteriormente se recolectan todos los trozos de caña dejados. A partir del tipo de pérdida encontrada se debe identificar paralelamente las causas que le pudieron dar origen.
- Determinar el porcentaje de pérdida. Las cañas o trozos encontrados como pérdidas se colocan en una hilera continua a lo largo de la zona de muestreo (hileras con longitud de 20 m). Para determinar el valor de la pérdida es necesario conocer el estimado del campo (Ec). Cada hilera continua de 20 m

significa una pérdida (P) de 5 t ha⁻¹ aproximadamente. Por regla de tres se halla el porcentaje de pérdida (% P), es decir:

$$\% P = \frac{P \times 100}{E_c}$$

Si la caña encontrada en el muestreo no completa los 20 m, el valor de la pérdida se determina por regla de tres en base a las 5 t ha⁻¹ de pérdidas anteriormente señaladas. Un resultado más confiable se obtiene al realizar tres evaluaciones como mínimo.

Merms: El control y la supervisión de los vales de pesa y la caña realmente recibida en el basculador juegan un papel importante en el control de toda la zafra.

Frescura de la caña: Para cada centro de recepción se confecciona un plan de frescura, teniendo en cuenta sus condiciones concretas. Este plan se elabora con el objetivo de reducir al mínimo el tiempo entre el corte y molienda de la caña. El plan de frescura de cada centro de recepción es la base para el control y chequeo de esta actividad, durante la ejecución de la zafra. Para reducir el tiempo entre corte y molienda, será necesario:

- Trabajar con un volumen mínimo diario de caña en el suelo.
- Hacer cuantos repartos de carro de ferrocarril sean necesarios y posibles.
- Moler primero la caña de más tiempo de cortada y troceada.
- No acumular exceso de caña, en el suelo y en carros, sobre todo los fines de semana.

En cada lugar se aplicarán sanciones consistentes en rechazar la caña atrasada. El laboratorio del ingenio decidirá mediante análisis hasta que momento la caña es «molible» y cuando debe ser desechada. Toda la caña debe ser procesada antes de las 36 horas de cosechada.

11.3.5 Efectos de la quema de caña de azúcar

La caña de azúcar se puede cosechar de dos formas: una quemando la caña y otra sin quemarla o cruda. Cuando se quema la caña de azúcar se producen una serie de problemas e impactos ambientales negativos relacionados con la calidad del aire, el suelo (físicos y biológicos), materia orgánica, la materia prima al ser llevada a la fábrica, la salud humana y con el cultivo.

En un estudio realizado en el Valle del Río Cauca, con el fin de evaluar la contaminación atmosférica generada por la quema de la caña de azúcar, donde se obtuvieron cifras en cuanto a la emisión de partículas, monóxido de carbono e hidrocarburos. En los reportes mensuales se encontró coincidencia entre los valores más altos de partículas en suspensión y la época de la quema de caña de azúcar para la cosecha en las zonas estudiadas. El deterioro de la calidad del aire está generando consecuencias en la salud de los habitantes, al observarse un incremento en los casos de infecciones y trastornos respiratorios. Entre las razones de peso, para practicar la quema de caña para la cosecha, se encuentran:

- Aumentar el rendimiento de los macheteros o cortadores.
- Disminuir una cantidad importante de materia extraña que va al central.
- Eliminar malezas, en campos infestados, por mal manejo agronómico.
- Disminuir el peligro de serpientes y ataques de insectos picadores.
- Evitar o disminuir las quemadas incontroladas.

Actualmente la escasez de fuerza de trabajo para cortar caña manual y el avance tecnológico alcanzado en las cosechadoras de caña de última generación, modifican sustancialmente las razones antes expuestas, en la Figura 11.6 se observa una cosechadora CASE 7000 cortando caña verde, en un campo de alto rendimiento.



Figura 11.6. Cosecha de caña verde utilizando la cosechadora CASE 7000, nótese el tamaño de la caña y el volumen de paja, 1 Triturador de cogollo, 2 Cuchilla de corte lateral.

La cosecha en verde, aunque representa retos tecnológicos, de manejo agronómico, para realizar las diferentes labores post-cosecha, es una alternativa viable para lograr mitigar o disminuir considerablemente los impactos negativos sobre el ambiente, evita la erosión del suelo y no produce efectos negativos sobre el rebrote de las yemas de la cepa para formar las socas. Los residuos pueden ser usados para; protección del suelo contra la erosión, abonos orgánicos para incorporarlos al suelo, conservar la humedad, mejorar la infiltración, recuperación física y biológica del suelo, control de malezas, alimentación animal, cama para corrales, lombricultura, y cogeneración de electricidad, entre otras.

Cuando se utiliza la quema como actividad previa a la cosecha se generan una serie de impactos ambientales negativos que inciden directamente sobre la atmósfera, el suelo, el ser humano y la materia prima, además se rompe el equilibrio biológico. La quema continua de los residuos tiende a reducir la microflora, sobre todo cerca de la superficie. Dejando los residuos de los cultivos en la superficie del suelo y usando una cobertura vegetativa perenne con un sistema radical denso, como ocurre con la caña de azúcar, se favorecerá un mejor desarrollo de la fauna del suelo y de la biomasa microbiana. En Cuba desde la década del 80 del siglo pasado, se crearon las condiciones para cosechar caña verde.

11.3.6 Productividad de las cosechadoras

El rendimiento o productividad de las cosechadoras no es más que la relación entre el volumen de trabajo realizado por unidad de tiempo trabajado. Es evidente que el trabajo en áreas de alto rendimiento y el buen aprovechamiento de la jornada contribuyen con el incremento de dicho índice. Otros aspectos relacionados con la productividad se pueden encontrar en la Norma Cubana (NC) 34:37:2003.

La productividad por tiempo de explotación para rendimientos agrícolas entre 35 y 100 t ha⁻¹, después de numerosos ensayos con las cosechadoras cubanas, se enmarcan entre 15,9 y 22,3 t/hora. Estos valores de productividad han sido afectados